

The Lunar Dichotomy Structure and Deviation of Its Shape Center from Mass Center

Buxi Gao

Institute of Geodesy and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing
Email: buxigao@163.com

Received: Aug. 10th, 2016; accepted: Aug. 28th, 2016; published: Aug. 31st, 2016

Copyright © 2016 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

According to the expedition of spacecraft for lunar crust, it is found that the surface structure on lunar farside quite differs from that on the nearside. According to the lunar figure model (CE-1), the lunar shape center is deviated 1117 m from the lunar mass center. The lunar dichotomy structure and the deviation of the shape center are very specific in solar system, and it must have a common evolutionary reason. The author suggested that after the Moon formed the synchronous rotation in about 3.5 billion years ago, because the Earth's strong gravity and the Moon was near to the Earth, only a litter meteorite fell down to the nearside of the Moon, and the most meteorite fell down to the farside of the Moon, and formed a thick cover layer. According to the deviation of the lunar shape center from the mass center, we may estimate that the average thickness of the cover layer is about two thousand metres, and the mass of the cover layer is only about 1.1×10^{-4} of the lunar mass.

Keywords

The Lunar Dichotomy Structure, The Deviation of the Lunar Shape Center from Its Mass Center, The Cover Layer on Farside of the Moon

月球的双面结构以及形心相对于质心的偏离

高布锡

中科院测量与地球物理研究所, 北京
Email: buxigao@163.com

收稿日期: 2016年8月10日; 录用日期: 2016年8月28日; 发布日期: 2016年8月31日

摘要

根据宇宙飞行器对月面的考察, 发现月球的正面和背面的结构有很大不同。根据月球形状模型(CE-1), 表明月球的平均形状中心偏离质量中心达1117米。月球的双面性结构和形心的偏离在太阳系中是非常特殊的, 一定有共同的演化原因。作者认为; 在约35亿年前, 在月球形成同步自转之后, 由于地球强大的引力场以及月球离地球比较近, 只有较少的陨石落在了月球正面, 而绝大多数陨石落于月球背面, 并且形成了较厚的堆积层。根据月球形心相对于质心的偏差, 我们可以估计这个堆积层的厚度可达二千多米, 其总质量大约只有月球质量的 1.1×10^{-4} 。

关键词

月球的双面性结构, 月球形心相对于质心的偏离, 月球背面覆盖层

1. 引言

月球的直径是地球的 $1/3.67$, 质量是地球的 $1/81$, 在太阳系所有卫星中按质量排位月球为第四, 地球能够拥有这么大的一个卫星是十分幸运的, 几十亿年来月球总是以固定的一面对向地球。近年来根据宇宙飞行器对月面的考察, 发现月球的正面和背面的结构有很大不同。月球的正面有许多大面积的月海, 而在月球背面, 只有很小的月海。基于对月球正面岩石的分析, 月球正面的月海覆盖着由溢出的岩浆形成的富含铁元素的玄武岩, 而在月球背面就没有这样的演化过程。月球正面被富含铁元素的密度较大的玄武岩和斜长岩所覆盖, 月球背面则被富含镁元素的密度较小的斜长岩覆盖。月球正面地势较为平坦, 月球背面山峦险峻, 月面最高点就处于月球背面(图 1)。在太阳系 19 个巨大的椭球形卫星中, 只有月球的形心相对于质心偏离达到 1117.32 米, 月球的形心偏离和双面性结构在太阳系中是非常特殊的, 一定有一个共同的演化原因, 在本文中将此做一个初步的探讨。

2. 月球的形心偏离和双面性结构演化原因探讨

月球的引力场是以月球的质心为原点的。采用激光测距方法测定的月球表面形状表明月球的平均形状中心偏离质心。根据最新的考察结果, 月球的形状更近于卵形, 较圆的一面朝向地球, 较尖的一面背向地球。根据嫦娥月球形状模型数据(CE-1, LMA), 球谐系数的一阶项为:

$$C_{10} = 136.82 \text{ m}, C_{11} = -1025.71 \text{ m}, S_{11} = -421.44 \text{ m} \quad (1)$$

C_{10} , C_{11} , S_{11} 分别表示了月球形状中心相对于质心在 Z 轴、X 轴和 Y 轴的偏离, 若用球坐标表示月球形心相对于质心的偏离, 则为 $(1117.32 \text{ m}, 220.33^\circ, 7.03^\circ)$, 大约正好指向月球背面最高点的方向。

大碰撞形成月球的假说已经得到了许多学者的认可, 这个假说认为在约 45 亿年前地球刚刚形成的时候, 一颗质量相当于火星大小的小行星与地球发生了碰撞。许多学者对大碰撞过程进行了模拟计算, 为了解释地月系统的角动量分布以及地球和月球的巨大密度差别, 要求这次大碰撞是低速的和偏离地球中心的 [1]。碰撞之后小行星的绝大部分物质包括内核都被地球吸收, 使地球的平均密度为 $5.515 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$, 是太阳系四个类地行星中密度最大的。较轻的小行星外壳凝聚形成了月球。由于缺少铁元素, 只形成了很小

的月核。月球的平均密度只有 $3.34 \times 10^{-3} \text{ kg/m}^3$ 。地球和月球的重力分异过程大约进行了一亿多年。按照 Valley 等人(2002)的说法[2], 在 43 到 40 亿年前, 地球表面经过了一个温度较低的冷期, 这时地面上有了水。这一点可以被地球上存在最老的沉积岩(约 38~36 亿年前), 以及对古老岩石中锆石所含的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 的分析证实。在 40 到 37 亿年前, 地球和月球又经历了一次大轰炸, 形成了许多的陨石坑和环形山。由于地壳运动以及气象变化地球表面的陨石坑绝大部分已经被抹平消失了, 但是月球表面上仍然保留了大轰炸形成的结构。许多学者认为这次大轰炸的陨石可能是来源于一些小行星轨道的迁移。Bottke 等人(2012)根据对月面环形山的考察, 认为月面玄武岩固化的时间大约是在 32~39 亿年前, 开始时有一些非常巨大的甚至能够造成直径 300 Km 环形山的小行星碰撞地球和月球, 后来巨大的碰撞减少了, 但是大轰炸事件延长到 32 亿年前[3]。大轰炸形成了现在的月面结构, 并且被很好地保存了下来。

早在 1799 年, Laplace 就发现了月球的形状与其轨道和自转状态并不符合, 有些学者认为, 月球保留了早期的化石形状。月球刚形成时离地球较近, 月球引力引起了海洋潮汐。由于地月系统的总角动量守恒, 潮汐摩擦使得地球自转越变越慢, 月球离地球越来越远。早期的月球还没有完全凝固, 可以将月球看作为滞弹性体。不考虑较小的月面地形起伏, 月球表面应该近于液态平衡面。地球的引潮力使得月球在朝向地球的方向被拉长, 月球的自转使得赤道部分隆起, 因此月球形成了三轴椭球体的形状。

月球的转动惯量 $C = 0.3935 MR^2$, M 和 R 分别代表月球的质量和半径[4]。上式中的系数和计算均匀密度的椭球体惯量矩时采用公式的系数 0.4 非常接近, 因此可以判断月球的密度分布比较均匀, 月核半径只有 300 Km, 其质量不到月球的 1%。据此, 高布锡(2008)计算出月球三轴椭球体形状的三个主轴的半长径长度差为[5]:

$$a - b = 398 \text{ m}, \quad b - c = 706 \text{ m}, \quad a - c = 1104 \text{ m} \quad (2)$$

采用月球引力场推算月球的水准面, 可以求得月球水准面三个主轴半长径之差为:

$$a' - b' = 233.1 \text{ m}, \quad b' - c' = 340.3 \text{ m}, \quad a' - c' = 573.4 \text{ m} \quad (3)$$

对比(2)式的相应数值, 可见都比(3)式大了约 1.9 倍。这说明月球形状与月球水准面形状是有区别的。其原因是由于月球形状和水准面所代表的液态平衡面并不一样, 如果用 Φ_s 表示月球的自身引力场, 用 Φ_t 和 Φ_r 分别表示地球对月球的引潮力位以及月球的自转离心力位, 用 Φ_{td} 和 Φ_{rd} 分别表示引潮力位和自转离心力位所引起的月球形变附加位, 则月球形状由下式决定:

$$\Phi' = \Phi_s + \Phi_t + \Phi_{td} + \Phi_r + \Phi_{rd} = \text{const} \quad (4)$$

而月球的引力场只与它的形状和物质分布有关, 因此月球的大地水准面由下式决定:

$$\Phi = \Phi_s + \Phi_{td} + \Phi_{rd} = \text{const} \quad (5)$$

在月球形成同步自转之后, 在月球上引潮力和自转离心力都是长期作用力。由于月球形状的表达式比水准面的表达式多了两项形变附加位, 所以(3)式的数值应当乘上长期勒夫数 $h_s = 1.94$, 才能与(2)式的结果相符。实际计算结果也验证了这个推论[5]。

根据如上两种方法求得的月球三个主轴的长度差可以求出地球在月球表面上引起的引潮力位和月球自转离心力位所引起的最大平衡潮高, 分别为:

$$\xi = 139.7 \text{ m}, \quad \eta = 371.6 \text{ m} \quad (6)$$

根据现在月球和地球的质量、半径以及月地距离可以算出, 地球在月面所引起的最大平衡潮高为 13.078 m, 比 139.7 m 小 10.68 倍。由于潮高与月地距离的立方成反比, 如果假定几十亿年来月球和地球的质量和半径不变, 那末就可以求出在月球在临凝结时的月地距离为 $1.7455 \times 10^8 \text{ m}$, 相当于 27.4 个地球半径, 比现今的地月距离近了 2.2 倍。利用开普勒第三定律, 可以算出那时的恒星月周期为 8.34 天。由于离心力位与月球转动角速度的平方成正比, 根据 η 可算出月球临凝结时的自转角速度为 $\omega = 1.997 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, 月球相对于

空间参考系的自转周期为 3.652 天，比恒星月周期 8.34 天要快，因此在月球临凝结时并未形成同步自转[5]。

月球的双面性以及形心相对于质心的偏离，应该是在月球形成同步自转之后才形成的，而这个过程应该还是比较短的，可能不到一亿年。可以判断在月球表面临凝结时，月球内部仍未完全凝结。在长期力的作用下，月球还表现出一些滞弹性体的性质，虽然月球很快就形成了同步自转，但是它仍然保留了过去的大部分形变。我们只能大致估计月球固化的时间应该是在三十多亿年前，Bottke 等人(2012)估计大轰炸期间落在地球上的物质质量是落在月球上的 17 倍[3]。根据地月系统引力场的拉普拉斯点分布，落在月球的背面的物质应该远远地多于正面。月球背面覆盖层应该是在第二次大轰炸时形成的，大约是在三十多亿年前。

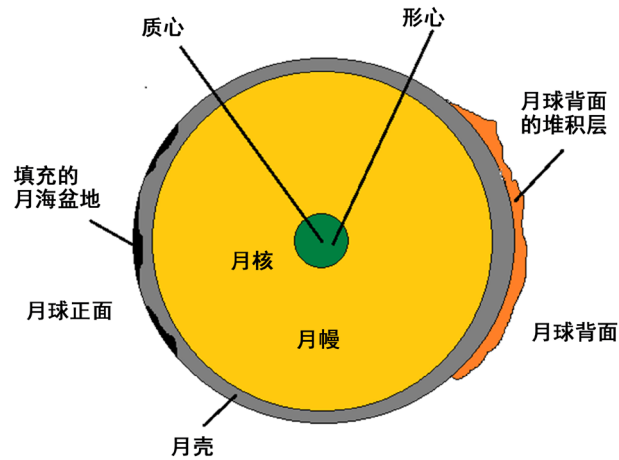


Figure 1. The Lunar Dichotomy Structure and the departure of its shape center

图 1. 月球的双面性与形心的偏离

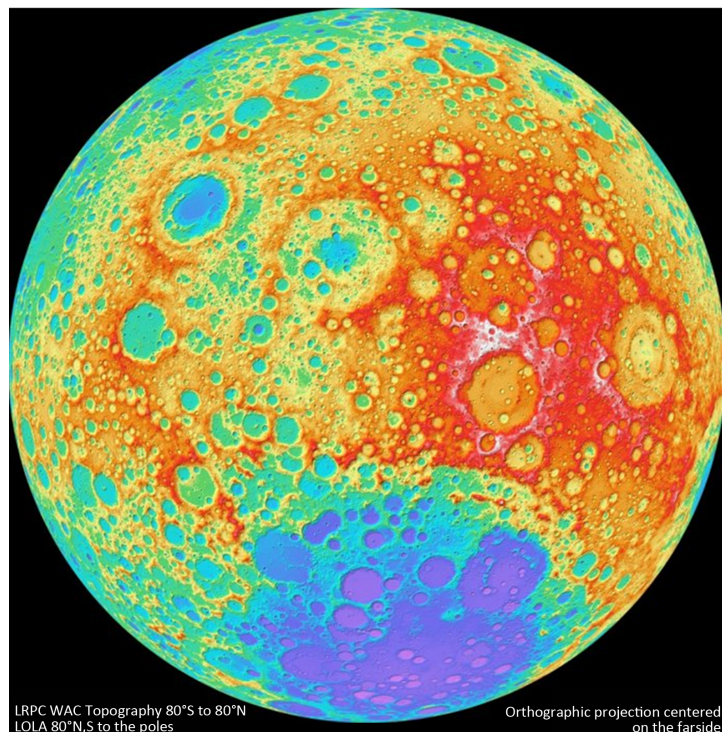


Figure 2. The topography of lunar farside

图 2. 月球背面地形图

月球在形成同步自转之前, 月球表面应当处于液体平衡状态, 月球形心与质心重合。在月球形成同步自转之后, 由于月球背面覆盖了许多新物质, 造成了月球形心相对于质心的偏离。根据形心相对于质心的偏离为 $(1117.32 \text{ m}, 202.33^\circ, 7.03^\circ)$, 可以估计月球背面堆积层是以月面坐标 $(202.33^\circ, 7.03^\circ)$ 为中心的, 正好在月面最高点附近。根据形心的偏离数值可以估计覆盖层平均厚度约为两千多米, 设覆盖层占了月球表面积的 $1/8$ (图 2)。取其密度为 $2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ [6], 由此可以估计月球背面覆盖层的质量大约为 $8.30\times 10^{18} \text{ kg}$, 等于月球质量的 1.1×10^{-4} 。

3. 结论

按照本文的说法, 由于月球背面覆盖层形成的比较晚, 没有形成液态或者有重力分异过程, 因此应该基本上保持了原始陨石物质的结构和形态, 甚至在下层岩石中可能含有冰, 并且呈现出多孔性等等, 希望以上推测能在未来的科学考察中进一步得到证实。

参考文献 (References)

- [1] Canuo, R.M. and Asphaug, E. (2001) Origin of Moon in a Giant Impact near the End of the Earth's Formation. *Nature*, **412**, 708-712.
- [2] Valley, J.W., Peck, W. H., King, E.M. and Wide, S.A. (2002) A Coll Earth. *Geology*, **30**, 351-354. [http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613\(2002\)030<0351:ACEE>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0091-7613(2002)030<0351:ACEE>2.0.CO;2)
- [3] Bottke, W.F., Vokrouhlický, D., Minton, D., Nesvorný, D., Morbidelli, A., Brasser, R., Simonson, B. and Levison, H.F. (2012) An Archaean Heavy Bombardment from a Destabilized Extension of the Asteroid Belt. *Nature*, **485**, 78-81. <http://dx.doi.org/10.1038/nature10967>
- [4] Charles Yoder, F. (1995) Astrometric and Geodetic Properties of Earth and the Solar System. American Geophysical Union, Washington DC.
- [5] Gao, B.X. (2009) An Estimate on the Lunar Figure. *Chinese Astronomy and Astrophysics*, **33**, 179-187.
- [6] Huang, Q. and Wiczorek, M.A. (2012) Density and Porosity of Lunar Crust from Gravity and Topography. *Journal of Geophysical Research*, **117**, E05003. <http://dx.doi.org/10.1029/2012JE004062>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>